



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000055636 A**(43) Date of publication of application: **25.02.00**

(51) Int. Cl.

G01B 11/24(21) Application number: **10223161**(71) Applicant: **NEKUSUTA:KK SATO YUKIO**(22) Date of filing: **06.08.98**(72) Inventor: **SATO YUKIO****(54) THREE-DIMENSIONAL SHAPE MEASURING DEVICE AND PATTERN LIGHT PROJECTOR**

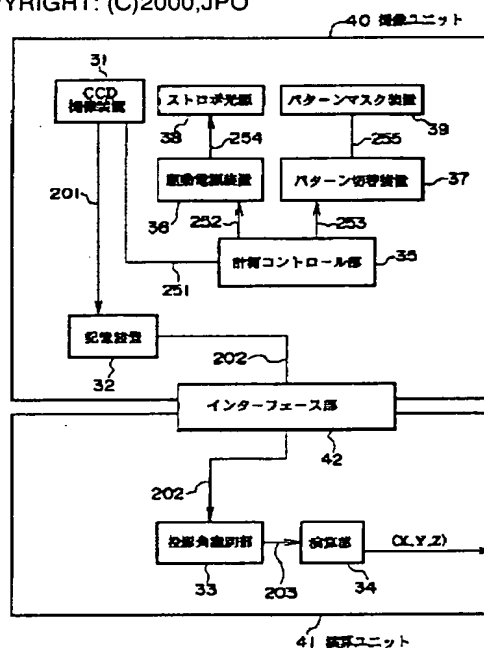
with the patterns of the pattern masking device 39 stabilized.

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small-sized and portable three-dimensional shape measuring device.

SOLUTION: A stroboscopic light source 38 is used as a light source to project pattern light for space coding. A drive electric power source device 36 has capacitors of which each has a capacity required for one light emission of the light source 38 by the number of patterns required for shape measurement (for example, n in the case of n-bit binary coding), and a charging power source such as a battery for charge of the capacitors. The charged capacitors are connected to the light source 38 with prescribed time intervals to flicker the stroboscopic light source 38. A pattern masking device 39 switches patterns for space coding synchronized with the light emission of light source 38. The light of the stroboscopic light source 38 is emitted within an accumulating period of a CCD image picking-up device 31 by control of a measurement control part 35, and relation among image pick-up, stroboscopic light emission and pattern switching timing is controlled so that the light emission is conducted within a period

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-55636
(P2000-55636A)

(43) 公開日 平成12年2月25日 (2000.2.25)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード* (参考)

G 0 1 B 11/24

G 0 1 B 11/24

K 2 F 0 6 5

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-223161

(22) 出願日 平成10年8月6日 (1998.8.6)

(71) 出願人 594190688

株式会社ネクスタ

神奈川県横浜市港北区大曽根台2番27号

(71) 出願人 591116678

佐藤 幸男

愛知県名古屋市中区名城二丁目1番 城北
住宅12-21号

(72) 発明者 佐藤 幸男

愛知県名古屋市中区名城二丁目1番 城北
住宅12-21号

(74) 代理人 100075258

弁理士 吉田 研二 (外2名)

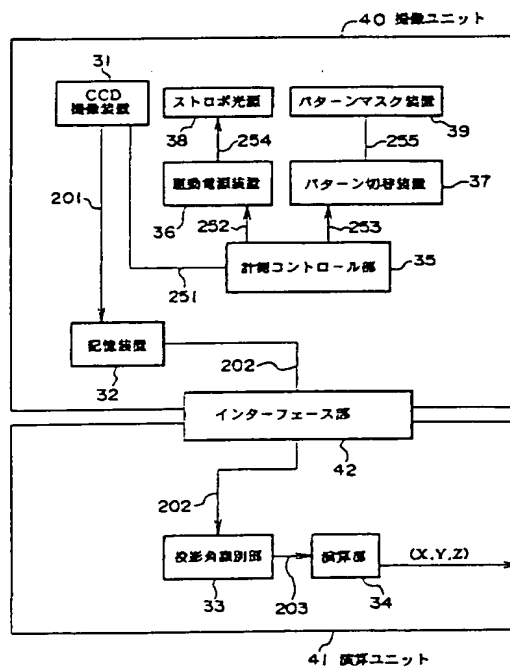
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元形状計測装置及びパターン光投影装置

(57) 【要約】

【課題】 小型・携帯可能な三次元形状計測装置を提供する。

【解決手段】 空間コード化のためのパターン光の投影のために、光源としてストロボ光源38を用いる。駆動電源装置36は、ストロボ光源38の発光1回分の容量のコンデンサを形状計測に必要なパターンの数（例えばnビット2進コード化の場合n個）だけ有し、それらコンデンサに充電する電池等の充電用電源を有する。充電済みのコンデンサを、所定の時間間隔ごとにストロボ光源38に接続していくことで、ストロボ光源38が点滅する。このストロボ光源38の発光に同期して、パターンマスク装置39は空間コード化のためのパターンを切り替える。計測コントロール部35の制御により、CCD撮像装置31の蓄積期間内にストロボ光源38が発光し、かつその発光がパターンマスク装置39のパターンが安定する期間に当たるよう、撮像、ストロボ発光及びパターン切替のタイミング関係が制御される。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 計測対象に対して所定の規則に従って順に変化するパターン光を投影するパターン光投影手段と、
前記パターン光投影手段からのパターン光が投影された前記計測対象を撮像する撮像手段と、
前記撮像手段により得られた各パターン光が投影された前記計測対象の画像に基づき、前記計測対象表面各点の三次元位置を算出する演算手段と、
を有し、
前記パターン光投影手段は、
ストロボ光源と、
前記ストロボ光源に電力を供給して発光させる駆動電源装置と、
前記ストロボ光源からの光を、所定の規則に従って順に切り替わるパターンマスクによってマスクすることにより、計測のために必要な種類の各パターン光を形成するパターンマスク装置と、
前記ストロボ光源の発光及び前記パターンマスク装置のパターンマスク切替のタイミングを、前記撮像手段の画像形成タイミングに合わせて同期制御する制御手段と、
を有する三次元形状計測装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の三次元形状計測装置において、
前記制御手段は、前記ストロボ光源の発光が、前記パターンマスク装置において切り替えたパターンマスクが安定する期間に行われるよう、前記ストロボ光源の発光及び前記パターンマスク装置のパターンマスク切替の同期制御を行うことを特徴とする三次元形状計測装置。

【請求項 3】 請求項 1 又は請求項 2 に記載の三次元形状計測装置において、
前記駆動電源装置は、前記ストロボ光源の 1 回の発光に必要な電源容量を有する単位電源を、1 回の形状計測に必要な前記パターンの数と同数だけ並列接続して構成された 1 回計測用電源ユニットを含み、前記各単位電源を順次切り替えつつ前記ストロボ光源に電源供給を行うことを特徴とする三次元形状計測装置。

【請求項 4】 計測対象に対して所定の規則に従って順に変化するパターン光を投影するパターン光投影手段と、
前記パターン光投影手段からのパターン光が投影された前記計測対象を撮像する撮像手段と、
前記撮像手段により得られた各パターン光が投影された前記計測対象の画像に基づき、前記計測対象表面各点の三次元位置を算出する演算手段と、
を有し、
前記パターン光投影手段は、
空間コード化のために必要な各パターンに対応して設けられ、各々がストロボ光源とその光源の光をマスクして所定のパターン光を形成するためのパターンマスクとを

2

含む複数のパターン光源ユニットと、
前記撮像手段の画像形成タイミングに合わせて各パターン光源ユニットを所定の順序に従って切り替えながら発光させる制御手段と、
を有する三次元形状計測装置。

【請求項 5】 請求項 4 記載の三次元形状計測装置であって、
前記パターン光投影手段は、
各パターン光源ユニットから発せられるパターン光を、
10 同一の出射位置まで導くライトガイドと、
前記ライトガイドにより前記出射位置に位置合わせされて出射されるパターン光を計測対象に投影するためのレンズ系と、
を更に含むことを特徴とする三次元形状計測装置。

【請求項 6】 請求項 5 記載の三次元形状計測装置であって、
前記パターンマスクは、空間を 2° の領域に分割する n ビット 2 進コード化用の縞パターンに形成され、
前記複数のパターン光源ユニットは、前記縞パターンの縞方向に沿ってマスク面を揃えて配置されることによりパターン光源部を形成し、
前記ライトガイドは、前記縞パターンの最小幅の縞に対応した厚みの 2° 枚の導光板を、各導光板間を遮光加工しつつ、前記縞パターンの縞の配列方向に積層して構成され、
前記導光板は、前記パターン光源部の前記縞の方向についての幅に実質的に等しい幅の入射端面から入射された光を、微小幅の出射端面まで導いて出射するよう構成され、入射端面と出射端面をそれぞれ互いに揃えて積層される三次元形状計測装置。

【請求項 7】 請求項 6 記載の三次元形状計測装置であって、
前記導光板の入射端面は、当該導光板内から外部へ光を漏らさないようハーフミラー加工されていることを特徴とする三次元形状計測装置。

【請求項 8】 三次元形状計測における空間コード化のためのパターン光を対象物に投射するためのパターン光投影装置であって、
空間コード化のために必要な各パターンに対応して設けられ、各々がストロボ光源とその光源の光をマスクして所定のパターン光を形成するためのパターンマスクとを含む複数のパターン光源ユニットと、
各パターン光源ユニットを順に切り替えて発光させる制御手段と、
を備えるパターン光投影装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、測定対象物の三次元形状を非接触で計測する三次元形状計測装置に関する。

3

【0002】

【従来の技術】光を用いて測定対象の三次元形状を非接触に計測する技術は、能動的計測法と受動的計測法とに大別される。受動的計測法は、ステレオ法に代表されるように環境光を利用して計測するものであるのに対し、能動的計測法は、投光装置から測定対象に対して光を照射し、その反射光に基づき計測を行うものである。能動的計測法には三角測量の原理を利用したものが多く、その代表的なものとしては、例えばスポット光投影法、スリット光投影法、符号（コード）化法がある。符号化法

【0003】図16には、空間コード化法の計測原理が示されている。図16において、測定物体Qを視野内に捉えているビデオカメラのレンズの光学中心11を原点として、レンズ光軸をZc軸とし、ビデオカメラの水平走査方向にXc軸をとり、Xc軸とZc軸に直交してYc軸をとっている。ビデオカメラの撮像面12は、実際には光学中心点11の後ろにあるものだが、図では説明が容易なように光学中心点11の前に示している。Xc軸とYc軸にそれぞれ平行に、撮像面12内にX'軸及びY'軸をとる。光学中心点11と撮像面12との距離をfとする。Xc軸上でZc軸から距離dだけ離れた位置に光源10が配置される。光源10から所定の広がりをもって発せられた光は、パターンマスク13を透過することによりパターン光100となる。このパターン光100が測定物体Qに投影されることにより、測定物体Qの表面には、パターンマスク13に対応した明暗の縞模様

【0004】

【数1】 $Z_p = f \cdot d / (f \cdot \tan \theta_i + X'_p)$

$X_p = X'_p \cdot Z_p / f$

$Y_p = Y'_p \cdot Z_p / f$

従来の空間コード化法では、縞模様を生成する方法の代表的なものとして次の2つの方法が知られている。ひとつは、物理的なパターンマスクにより光源からの光を遮

4

ることにより縞模様を投影するものであり、開口した複数の板やフィルムを機械的に切り替えたり、円盤状のパターンマスクを回転させたりすることにより時系列的に光パターンを生成する方法である。これを液晶シャッタで実現した方法がよく知られる。もう一つは、物理的なパターンマスクを使用する代わりに、レーザを用いてスリット光を形成し、このスリット光を偏向機構を用いて走査、スイッチングすることにより、パターンを形成するという方法である。前者の代表的なものに「液晶レンジファインダー液晶シャッタによる高速距離画像計測システム」（佐藤宏介、井口征士：電子情報通信学会論文誌、'88/7 Vol. J71-D No. 7）や特開昭64-54208号公報に示される方法がある。この方法では、パターンマスクとして液晶シャッタを用い、光源にはハロゲンランプ等の光プロジェクタを用いていた。一方、後者の代表的なものには、「スキャン式符号化法による小型高速レンジファインダ」（服部数幸、佐藤幸男：電子情報通信学会論文誌、'93/8 Vol. J76-DII, No. 8）や特開平3-128889号公報に示されるものがある。この方法では、半導体レーザから出力されたレーザ光をレンズ系を用いてスリット光に変換し、そのスリット光をガルバノミラーなどを用いて所定の制御の下で走査しながら、半導体レーザを点滅させることにより縞模様を形成していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】三次元形状計測技術は、様々な分野への応用が期待されている。特に、携帯可能な小型の三次元形状計測装置が実現できれば、その応用範囲は驚異的な広がりを見せるであろう。ところが、従来提案されている三次元形状計測技術には、携帯性の観点から考慮したものではなかった。

【0006】例えば、前者の方法は、光源にハロゲンランプを用いているため、消費電力が大きく、電源の整備された環境でないと使用できない。また、ハロゲンランプは発熱も多いため、装置の小型化が困難である。このような点から、前者の方法は、携帯型の装置には向かなかった。また、前者の方法では、液晶シャッタのパターンを切り替えたときに液晶の状態が一時的に不安定となり、その後安定したパターンが得られるまでは、画像の取り込みを行うことができない（画像を取り込んだとしても、その画像はパターンが不安定なときの影響を含むので形状計測には不適である）。したがって、あるフレーム（又はフィールド）で画像を取り込むと、少なくとも次のフレーム（又はフィールド）はパターンの切替と安定化のために画像取り込みを行えず、形状計測のために必要な各パターンの画像を得るのに時間が掛かるという問題もあった。

【0007】一方、後者の方法は、光源が半導体レーザなので消費電力が小さく発熱も小さくなり、装置の小型化が比較的容易であるという利点があるが、次のような

5

問題がある。また、光源が単一波長の半導体レーザなので、三次元形状の計測はできるものの、カラー画像を同時に得ることができないという問題もある。更には、レーザ光走査のための機械的な走査機構は、一般に装置の移動などに伴う振動に対して不安定になりやすく、計測の安定性が乱れる場合があるという問題もあった。特に最後の問題は、携帯型の装置を実現する上で大きな問題となる。

【0008】本発明は、上記問題を解決するためになされたものであり、三次元形状計測装置において携帯化可能な構成を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明に係る三次元形状計測装置は、計測対象に対して所定の規則に従って順に変化するパターン光を投影するパターン光投影手段と、前記パターン光投影手段からのパターン光が投影された前記計測対象を撮像する撮像手段と、前記撮像手段により得られた各パターン光が投影された前記計測対象の画像に基づき、前記計測対象表面各点の三次元位置を算出する演算手段とを有し、前記パターン光投影手段は、ストロボ光源と、前記ストロボ光源に電力を供給して発光させる駆動電源装置と、前記ストロボ光源からの光を、所定の規則に従って順に切り替わるパターンによってマスクすることにより、計測のために必要な種類の各パターン光を形成するパターンマスク装置と、前記ストロボ光源の発光及び前記パターンマスク装置のパターン切替のタイミングを、前記撮像手段の画像形成タイミングに合わせて同期制御する制御手段とを有する。

【0010】この構成では、ストロボ光源を駆動電源装置からの電力供給により間欠的に発光させ、その発光をパターンマスク装置を通過させることにより所定のパターンにして計測対象に投影する。ここで、制御手段により、ストロボ光源の発光及びパターンマスクのパターン切替のタイミングを、撮像手段の画像形成タイミングに合わせて同期制御することにより、空間コード化に必要な各パターンの投影を得ることができる。

【0011】この構成によれば、光源としてストロボ光源を用いるので、小電力で駆動することができ、例えば電池ベースの運用も可能である。また、機械的な走査機構を必要としないため、装置移動時の振動の問題もない。したがって、小型で携帯可能な装置を実現することができる。

【0012】また、この構成では、ストロボ光源による瞬間的な発光により露光を行うため、あるフレーム（又はフィールド）で大部分の時間においてパターンが不安定であっても、露光の瞬間だけパターンが安定していれば、必要な画像が得られる。したがって、パターンマスク装置として液晶シャッターを用いた場合でも、フレーム（又はフィールド）を無駄にせず連続して画像取り込みを行うことができ、形状計測に必要な画像の取り込み期

6

間を短縮することができる。

【0013】この構成の好適な態様では、駆動電源装置は、ストロボ光源の1回の発光に必要な電源容量を有する単位電源を、1回の形状計測に必要なパターンの数と同数だけ並列接続して構成された1回計測用電源ユニットを含み、前記各単位電源を順次切り替えて前記ストロボ光源に電源供給を行う。この態様によれば、形状計測に必要な各パターンの画像を連続的に撮影することができる。なお、この1回計測用電源ユニットを複数設けることにより、連続的に形状計測を行うこともできる。

【0014】また、本発明に係る三次元形状計測装置は、計測対象に対して所定の規則に従って順に変化するパターン光を投影するパターン光投影手段と、前記パターン光投影手段からのパターン光が投影された前記計測対象を撮像する撮像手段と、前記撮像手段により得られた各パターン光が投影された前記計測対象の画像に基づき、前記計測対象表面各点の三次元位置を算出する演算手段とを有し、前記パターン光投影手段は、空間コード化のために必要な各パターンに対応して設けられ、各々がストロボ光源とその光源の光をマスクして所定のパターン光を形成するためのパターンマスクとを含む複数のパターン光源ユニットと、前記撮像手段の画像形成タイミングに合わせて各パターン光源ユニットを所定の順序に従って切り替えながら発光させる制御手段とを有する。

【0015】この構成も、小電力で駆動可能なストロボ光源を利用し、機械的な走査機構無しでパターンを形成することができるので、小型で携帯可能な装置を実現できる。更には、この構成では、1つのパターンマスク装置でパターンを変化させるのではなく、固定的なパターンマスクを有するパターン光源ユニットを切り替え発光させることでパターン光の種類を切り替えるので、液晶シャッターなどのようなパターンマスクの制御が不要となり、制御機構が簡素化できる。

【0016】この構成において、パターン光投影手段に、各パターン光源ユニットから発せられるパターン光を同一の出射位置まで導くライトガイドと、ライトガイドにより前記出射位置に位置合わせされその位置から出射されるパターン光を計測対象に焦点合わせするレンズ系と、を設けることも好適である。各パターン光源ユニットのパターン光を同一出射位置に導いて出射させることにより、各パターン光を高精度で位置合わせすることができる。

【0017】ここで、パターンマスクとして2進コード化用の縞パターンを用いた場合、パターンマスクの最小幅の縞の厚みを持つ導光板を複数枚積層してライトガイドを構成することが好適である。この構成では、各導光板間を遮光することにより、パターン光源ユニットから発せられたパターン光を、明暗の縞を明確に保ったまま、出射位置まで導くことができる。また、導光板の出

7

射端面を微小幅にしておくことにより、パターン光源ユニットが入射端面のどこに位置しても、最終的にその微小幅の出射端面から出射されるので、パターン光源ユニットの位置によらず均一なパターン光を投射することができる。なおここでいう2進コードには、純2進コードの他にグレイコード(交番2進コード)なども含まれる。

【0018】また、ここで、各導光板の入射端面をハーフミラー加工することにより、導光板内からパターン光源ユニットへの光の漏れ込みが防止できる。あるパターン光源ユニットから発せられた光が導光板内で反射して他のパターン光源ユニットに漏れ込むようなことがあると、漏れ込み先のユニットから光が再び導光板内に戻り、その結果もとのパターンとは異なる部分が明るくなることがある。このようなことが起こると、計測対象に投影されるパターンが不明瞭になり、計測の精度が悪くなってしまうが、この態様によればそのような問題を防止できる。

【0019】また、本発明は、空間コード化のために必要な各パターンに対応して設けられ、各々がストロボ光源とその光源の光をマスクして所定のパターン光を形成するためのパターンマスクとを含む複数のパターン光源ユニットと、各パターン光源ユニットを順に切り替えて発光させる制御手段とを備えるパターン光投影装置を提供するものである。このパターン光投影装置によれば、空間コード化に必要な複数のパターン光を、小型で簡素な装置構成で生成することができる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態(以下実施形態という)について、図面に基づいて説明する。

【0021】〔実施形態1〕図1に、本実施形態の三次元形状計測装置(レンジファインダ)の原理的な構成を示す。図1において、ストロボ光源38から発せられた白色光は、パターンマスク装置39により、明暗の縞パターンを有するパターン光100に変換され、計測対象の物体Qに向けて投影される。ここで、ストロボ光源38は、駆動電源装置36からの電力254の供給の有無に応じて、点灯又は消灯される。駆動電源装置36は、計測コントロール部35が発する制御信号252に応じて、所定の規則に従ってストロボ光源38に電力の供給及び停止を制御する。パターンマスク装置39は、例えば液晶シャッタで構成することができ、パターン切替装置37から与えられるパターン切替信号255に応じて、縞パターンを所定の規則に従って切り替える。パターンマスク装置39としては、パターンを切り替えたとき、1フィールド以内の所定時間でパターンが安定化するものを用いる。パターン切替装置37は、計測コントロール部35が発する切替タイミング信号253のタイミングで、パターンの切替を行う。CCD撮像装置31は、計測対象の物体Qを視野に収め、計測コントロール

8

部35から供給される撮像同期信号251に応じて、1フィールドごとに撮像処理を行い、画像データ201を出力する。

【0022】駆動電源装置36、パターン切替装置37及びCCD撮像装置31は、計測コントロール部35により同期制御される。すなわち、駆動電源装置36への制御信号252、切替タイミング信号253、及び撮像同期信号251は、互いに所定の時間関係をもちつつ出力される。これにより、CCD撮像装置31の1フィールド分の蓄積期間内にストロボ光源38が発光し、この発光に同期してパターンマスク装置39のパターンが切り替えられる。ここで、駆動電源装置36への制御信号252とパターン切替タイミング信号253との時間関係は、パターンマスク装置39のパターンが安定になっている期間中にストロボ光源38が発光するよう、調整されている。

【0023】パターン光100は、物体Qの表面に歪んだ縞パターンを形成する。ここで、パターン光の1回の投影は、CCD撮像装置31の蓄積期間内に行われるため、1フィールドの画像データ201の中には、ストロボ光源38の瞬間的な発光によってできた歪んだ縞パターンの画像が含まれることになる。この画像データ201は、記憶装置32へ送られ、1フィールドごとに順次蓄積される。

【0024】以上のような機構により、パターンマスク装置39のマスクを切り替えながら、順次撮像を行う。空間コード化のために必要なすべてのパターンについて撮像が完了すると、記憶装置32に蓄積された各パターンについての画像データに基づき、物体Qの形状計算処理(物体Q各点の三次元的座標の計算処理)が行われる。この処理は、投影角識別部33及び演算部34により行われる。投影角識別部33は、記憶装置32に蓄えられた各パターンの画像データ202を用いて、縞パターンの各領域に対応する投影角を求め、演算部34はこの投影角情報203を各画素の画面上での位置情報と組み合わせることにより、物体Q上の任意の点Rの座標(x, y, z)を計算する。なお、投影角識別部33と演算部34の処理内容については、後に改めて詳しく説明する。

【0025】パターン光100は、物体Qの表面上にパターンマスクに応じた縞パターンを投影する。この投影は、CCD撮像装置31の1フィールド分の蓄積期間に同期してパターンマスクを変更しながら、順次行われる。この様子を図2を参照して説明する。

【0026】図2の(a)、(b)、(c)及び(d)は、空間コード化のために用いるパターンマスクの例を示している。パターンマスク装置39は、これらパターンマスクを順次切り替えつつ生成する。ここに挙げた(a)～(d)は、空間を16(=2⁴)の領域に分割する4ビットの純2進空間コード化のために用いるパタ

9

ーンマスク群である。パターンマスク (a) ~ (d) を順次切り替えながら、それと同期してストロボ光源 38 を点滅させると、物体 Q 上に各パターンマスクに応じた明暗の縞パターンが投影され、それが CCD 撮像装置 31 で撮像される。例えば、パターンマスク (a) を物体 Q に投影すると、CCD 撮像装置 31 では図 2 の

(a') に示すような画像データが得られる。同様に、(b') ~ (d') は、それぞれパターンマスク (b) ~ (d) に対応する画像データの例である。4 ビットの純 2 進空間コード化では、(a) ~ (d) の 4 種のパターンマスクについて、計測対象の物体の画像データの取り込みが必要となる。これら画像データ群は記憶装置 32 に蓄積され、後の処理に供される。なお、パターンマスク (a) ~ (d) は、必ずしもこの順序で投影するする必要はない。最終的にこれら 4 種のパターンマスクに対応する画像データが得られれば、そのような順序で投影を行ってもよい。

【0027】更に図 2 (a') ~ (d') を参照して、投影角識別部 33 の処理について説明する。ここでは、記憶装置 32 に既に図 2 (a') ~ (d') の 4 つの画像データが蓄積済みであるとして説明する。

【0028】投影角識別部 33 は、記憶装置 32 から、形状計測のために必要な画像データ群 (図 2 (a') ~ (d')) を読み出し、これら画像データ群に基づき、撮像された空間を複数 (この場合は 16 個) の空間領域に分割する。すなわち、図 2 (d') の画像では、画面は明暗の縞により、 $s'1, s'2, s'3, \dots, s'16$ の 16 個の領域に分けられており、これら各領域は、パターンマスクにおける縞が光源からの光により空間に投影されてできる楔状空間 (図 1 又は図 7 参照) に対応している。ここでは、物体の各点がいずれの楔状空間に属するかを識別する。以下、この処理手順を説明する。

【0029】この処理では、物体上の任意の点 R が、各パターンマスクの投影のもとで明い暗いかを識別し、この識別結果に基づき、その点がどの楔形空間に含まれているかを識別する。点 R は、各画像データ (a') ~ (d') の画面において、同一の位置の点である。点 R の明暗を識別すると、画像 (a') では明、(b') では暗、(c') では明、(d') では暗となっている。点 (画素) の明暗の識別のために、前処理として、各画像データに対して二値化処理を施しておくことも好適である。この例における明暗の識別結果を、パターン (a') ~ (d') の順序に並べると、点 R は「明暗明」の 4 ビットのコードを持つことになる。この明暗の 4 ビットコードが、この例における空間コードである。図から分かるように、「明暗明」の空間コードを持つのは、領域 $s'12$ に対応する楔形空間に属する点であり、それ以外にはない。このように、4 つのパターンマスクに対応する各画像から、各点 (画素) について上記のような明暗の 4 ビットコードが求められ、その

10

4 ビットコードにより、その点が $s'1 \sim s'16$ のいずれに対応する楔形空間に属するかが一意に識別できる。この識別結果、すなわち点が属する楔形空間の識別情報が、投影角情報 203 として投影角識別部 33 から出力される。この投影角情報 203 は演算部 34 により利用される。

【0030】なお、以上に説明した 4 ビットの純 2 進コードパターン例は、空間コード化の原理を分かり易く説明するためのものである。実用的には、もっとビット数を増やした (パターンマスクの種類を増やした) 構成とすることが好ましい。例えば 8 ビット (パターンマスクが 8 種類) の空間コード化を行えば、空間を 256 の楔形空間に分割することができ、詳細な形状計測が可能になる。ビット数 (パターンマスクの種類) をもっと増やせば、更に詳細な計測が可能になる。また、純 2 進コードのパターンマスク列の代わりに、グレイコード (交番 2 進コード) を生成するパターンマスク列を用いることも好適である。グレイコードは、隣接コード間のコード化誤りを最小化できるという利点がある。図 3 に、4 ビットのグレイコードを生成するパターンマスク列 (e) ~ (h) を例示する。

【0031】次に、図 4 を用いて、演算部 34 による演算処理について説明する。

【0032】CCD 撮像装置 31 の光学中心点 11 の座標を (0, 0, 0) とし、撮像面 12 の中心点 60 の座標を (0, 0, f) とする。ストロボ光源 38 の投影中心点 M の座標は (Mx, 0, Mz) であるとする。このような座標系のもとで、演算部 34 は、計測対象の物体 Q 上の各点の三次元座標 (X, Y, Z) を求める。ここでは、点 R の座標演算の手順を例にとりてこの手順を説明する。

【0033】まず、投影角識別部 33 から与えられた点 R の投影角情報 203 から、点 R の属する楔形空間 120 が Zc 軸方向となす角 ϕ を求める。楔形空間 120 は厚みを持っており、点 R の位置をその厚みより細かく決定することはできない。したがって、楔形空間 120 の厚み分の角度 $\delta\phi$ は測定誤差となる。

【0034】ここで、点 R が撮像面 12 上に結像した点を点 R' とし、その座標を (x_i, y_i, f) とする。幾何学的関係を考慮すると、点 R の座標 (X, Y, Z) は次式で得ることができる。

【0035】

【数 2】

$$Z = f \cdot (Mx + Mz \cdot \tan \phi) / (x_i + f \cdot \tan \phi)$$

$$X = Z \cdot x_i / f$$

$$Y = Z \cdot y_i / f$$

CCD 撮像装置 31 で得られた画像の各画素 (x_i, y_i) について、この式を適用することにより、その画素 (x_i, y_i) に対応する空間内の点の三次元座標 (X, Y, Z) が求められる。このようにして得られた

各画素に対応する三次元座標 (X, Y, Z) の分布により、計測対象の物体の三次元形状が表現されることになる。

【0036】以上、本実施形態に係る三次元形状計測装置の全体構成及びその処理手順を説明した。次に、本実施形態の更なる特徴であるストロボ光源38の駆動電源装置36の構成について説明する。

【0037】駆動電源装置36は、図5に示す1回計測用電源ユニット50（以下「電源ユニット」と略す）と、充電用電源56及び切替制御部57を有している。電源ユニット50は、1回の形状計測処理のために必要な電荷を蓄積し、これをストロボ光源38に供給する電源装置である。1回の形状計測処理には、空間コード化のビット数を m とすると、 m 種のパターンマスクが必要となるので、 m 回のストロボ発光が必要となる。このため、電源ユニット50は、ストロボ光源38が m 回発光するのに必要な電荷を蓄積可能な構成となっている。具体的には、電源ユニット50は、ストロボ光源38の1回の発光に必要な電荷を蓄積できるコンデンサ51を、 m 個並列に備える構成となっている。すなわち、コンデンサ51が、ストロボ光源38に発光1回分の電源供給を行う単位電源となっている。図5の例は、8ビット空間コード化の場合の例であり、8回分の発光のために8つのコンデンサ51-1～51-8を備えている。各コンデンサ51は、それぞれスイッチ54を介して充電用電源56から電源供給を受けて充電を行う。また、各コンデンサ51は、充電により蓄えた電荷を、スイッチ55を介してストロボ光源38に供給する。スイッチ54及びスイッチ55は、切替制御部57から与えられる切替制御信号260に応じて、順次その接続先のコンデンサ51を切り替える。

【0038】ストロボ光源38に電源供給を行う際（このとき各コンデンサ51-1～51-8は満充電状態にある）には、スイッチ55は、切替制御部57からの切替制御信号260に従い、所定の時間間隔ごとに接続先をコンデンサ51-1、51-2、・・・と所定の順序で切り替えていく。切替の時間間隔は画像1フィールド分の時間（例えば1/60秒）である。また、切替のタイミングは、切替先のコンデンサ51の放電がパターンマスク装置39のパターンの安定期間中に行われるよう、調整されている。このような切替により、最後のコンデンサ51-8の放電が終わると、すべてのパターンの投影及び撮像が完了したことになる。なお、切替制御信号260は、計測コントロール部35から与えられる制御信号252（図1参照）を基準として、上記の切替処理を実現するよう生成される。

【0039】一方、電源ユニット50の各コンデンサ51-1～51-8を充電する際には、その電源ユニット50内の各スイッチ54が、切替制御信号260に従い、放電中のコンデンサ以外はすべて充電されるように

制御される。

【0040】この構成では、コンデンサ51は発光1回分程度の小容量のもののなので、充電用電源57として市販の小型の電池を用いることができ、駆動電源装置36全体を小型化することができる。

【0041】なお、よく知られるように、コンデンサの充電に要する時間は放電に要する時間より一般に遥かに長いので、電源ユニット50が1個だけでは、形状計測を連続して行うことはできない。放電後すぐにコンデンサ51を充電しても、そのコンデンサの次の放電タイミング（すなわち残りの全コンデンサの放電が完了するタイミング）までに充電が完了しないからである。形状計測を連続して行うためには、次のような構成が好適である。

【0042】それは、図6に示すように、電源ユニット50を複数（ n 個）並列に設けるという構成である。各電源ユニット50は、充電用電源56から充電され、充電により蓄積した電荷をスイッチ59を介してストロボ光源38に供給する。スイッチ59は、切替制御部57から発せられる制御信号に応じて、接続先が切り替えられる。

【0043】駆動電源装置36に設ける電源ユニット50の数 n は、1つの電源ユニット50を充電するのに要する時間と、1回の形状計測に要する時間（すなわち電源ユニット50の放電時間）とに基づき定める。各電源ユニット50は、切替制御部57からの切替制御信号により制御されており、スイッチ59によりストロボ光源38に接続されている電源ユニット50（図6では電源ユニット50-2）以外の電源ユニット50では、すべてのコンデンサ51に対する充電用のスイッチ54（図5参照）がオン（接続）になる。一方、ストロボ光源38に接続されている電源ユニット（すなわち計測に利用されているユニット）では、前述の図5の構成について説明したように、放電中のコンデンサ51以外のすべてのコンデンサ51が充電されるよう、スイッチ54が制御されている。すなわち、この図6の構成でも、ある時点で見れば放電中のコンデンサ51以外のコンデンサ51はすべて充電状態にある。以上のような各電源ユニット50の計測（放電）・充電期間のタイミング関係をまとめると、図7のようなタイミングチャートになる。このような構成によれば、最後の電源ユニット50- n の放電が完了した時点で最初の電源ユニット50-1の充電が完了しており、電源ユニット50-1により引き続いて形状計測を行うことができる。そして、このようにして連続的に際限なく形状計測を繰り返すことができる。

【0044】図6の構成を採用すれば、駆動電源装置36は大型になるものの、連続的な形状計測作業が可能になる。

【0045】駆動電源装置36に電源ユニット50を何

13

個装備するかは、その駆動電源装置 36 を設ける形状計測装置自体の用途・目的に応じて定めればよい。携帯性を重視する場合は電源ユニット 50 の数は少ない方がよく、多数の対象物あるいは移動物体の形状計測を素早く行いたいというような場合には電源ユニット 50 の数は多い方がよい。

【0046】次に、図 8 を参照して、本実施形態の三次元形状計測装置において、より携帯性を高めるための構成について説明する。図 8 に示す各構成要素のうち、図 1 に示した構成要素に相当する構成要素には、同一の符

号を付してその説明を省略する。

【0047】図 8 の構成の特徴は、三次元形状計測装置を、撮像ユニット 40 と演算ユニット 41 とに分離可能にしたことにある。撮像ユニット 40 には、CCD 撮像装置 31、ストロボ光源 38、パターンマスク 39、駆動電源装置 36、パターン切替装置 37、計測コントロール部 35 及び記憶装置 32 が含まれる。一方、演算ユニット 41 には、投影角識別部 33、演算部 34 が含まれる。撮像ユニット 40 と演算ユニット 41 とは、インターフェース部 42 を介して接続・分離可能となっている。

【0048】この構成によれば、撮像ユニット 40 のみを携帯することにより、所望の物体の空間コード化画像を撮影することができる。撮影した画像は記憶装置 32 に蓄えられる。形状を求めたいときは、撮像ユニット 40 を演算ユニット 41 に接続すればよい。すると、演算ユニット 41 が記憶装置 32 から蓄積した空間コード化画像を読み出して前述の形状演算処理を実行し、撮影した物体の形状データを求める。

【0049】携帯性の利点を高めるためには、撮像ユニット 40 の記憶装置 32 には、できるだけ大容量にし、多数回の計測分の画像データを格納できるようにしておくことが好適である。

【0050】この構成を採用した場合、演算ユニット 41 は、携帯する必要がないので、ある程度大型でもよい。そのかわり、演算ユニット 41 は、適切な処理装置（コンピュータなど）に接続できるようにしておき、形状の計算結果が様々な用途に利用できるようにしておくことが好ましい。

【0051】以上説明したように本実施形態によれば、パターン光の光源がストロボ光源なので小電力で駆動することができ、また機械的な走査機構も必要としないので、小型で携帯可能な三次元形状計測装置を実現することができる。また、ストロボ光源を利用したことにより、レーザ光走査によるパターン形成の場合と比べて、計測可能な距離範囲を遥かに大きくとれる。

【0052】また、本実施形態では、ストロボ光源による瞬間的な発光により露光を行っているため、フィールドの大部分の時間でパターンが不安定であっても、露光の瞬間だけパターンが安定していれば、必要な画像が得

14

られる。パターンマスク装置として、パターンを切り替えた場合でも 1 フィールド以内にパターンが安定するようなものを用いれば、そのストロボ発光のタイミングを、パターンマスク装置のパターンが安定する期間に合わせることで、複数フィールドにわたって連続して画像の取り込みを行うことができる。したがって、形状計測に必要な画像の取り込み期間を短縮することができる。

【0053】また、本実施形態では、パターン形成のために機械走査機構を用いないので、可動部分もなく、経年的な性能劣化の問題も少なくなる。また、ストロボ光源 38 として、一般的な白色光のストロボを用いれば、形状計測の際に得た各パターン光での画像から、計測対象のカラー画像を構成できる。すなわち、本実施形態によれば、1 つの光源で形状計測とカラー画像撮影の二つの目的を達成することができる。

【0054】〔実施形態 2〕パターン光の投影手段についての別の実施形態を説明する。

【0055】図 9 は、本実施形態におけるパターン光投影のための装置の構成を示す説明図である。図に示すように、本実施形態のパターン光投影装置は、空間コード化のために必要な各種のパターン光を生成するパターン光源部 70、パターン光源部 70 から発せられたパターン光を位置合わせするためのライトガイド 80、ライトガイド 80 が出射する位置合わせされたパターン光を計測対象に対して投影するためのレンズ系 90、を含む。

【0056】パターン光源部 70 は、複数のパターン光源ユニット 72 から構成される。各パターン光源ユニット 72 は、図 10 に示すように、細長い筐体 74 の内部にフラッシュ管 76 を設けたものである。筐体 74 の一面はパターンマスク 78 となっており、筐体 74 の他の内面は鏡面加工されている。したがって、フラッシュ管 76 の発光は、パターンマスク 78 を通してのみ外部に放射される。パターンマスク 78 は、実施形態 1 におけるパターンマスク装置 39 の場合と同様、透光部 78a と遮光部 78b との縞パターンに形成されている。パターンマスク 78 の縞パターンは、パターン光源ユニット 72 ごとに異なる。パターン光源部 70 は、空間コード化に用いる縞パターンごとに、1 つずつパターン光源ユニット 72 を備える。

【0057】図 11 は、パターン光源部 70 の構成を説明するための図である。ここでは、説明を簡単にするため、単純な 4 ビットの純 2 進空間コード化の例を示している。パターン光源部 70 は、4 ビット純 2 進コード化に必要な 4 種のパターンを生成するために、4 つのパターン光源ユニット 72-1 ～ 72-4（以下「光源ユニット」と略す）から構成される。各光源ユニット 72 は、パターンマスク 78 の面を描え、パターンマスク 78 の縞の方向（図中矢印 A 方向）に沿って、各々の縞パターンを図示の如く位置合わせした状態で配列される。

15

なお、各光源ユニット72の配列順序は、図11に示したものに限られない。これら各光源ユニット72は、後述する制御装置により、一度に1つずつ発光する。

【0058】ライトガイド80は、パターン光源部70の各光源ユニット72から出た光を、同一の出射位置まで導くためのものである。

【0059】ライトガイド80は、図12及び図13に示すように、楔形形状の薄い導光板82を積層して構成されている。図12は斜視図、図13は上面図である。導光板82の1枚の厚みは、パターンマスク78群の縞10
パターンのうち最小幅の縞と同幅である。導光板82の入射端面82aは、パターン光源部70の高さ、すなわち(光源ユニット72の高さ $a \times$ 個数)と等しい長さを有している。また、導光板82の出射端面82bは、パターンマスク78の高さ a と同幅又はそれ以下の微小幅である。各導光板82は、入射端面82a及び出射端面82bをそれぞれ揃えて積層される。積層された入射端面82a群及び出射端面82b群が、それぞれライトガイド80の入射面80a及び出射面80bとなる。

【0060】積層する導光板82の枚数は、パターンマスク78の全幅をカバーするのに必要な枚数である。 n ビット2進コード化の場合には、 2^n 枚の導光板82を積層する。例えば、4ビットコード化用の図11のパ10
ターン光源部70に対しては、16枚の導光板82を積層したライトガイド80を用いる。

【0061】ライトガイド80は、その入射面80aをパターン光源部70に当接させて配置される。ここで、各導光板82は、入射端面82aの長手方向をパターン光源部70の高さ方向(すなわち縞方向A)に合わせ、入射端面82aをパターンマスク78群の各バンド(図11では1~16)に当接させて、配置される。30

【0062】各導光板82は、入射端面82aから入射した光を外に漏らさず、出射端面82bに導くように加工されている。すなわち、まず、導光板82の斜面82cは導光板82内部からの光を再び導光板内部に反射するようミラー加工されている。また、隣接する導光板82同士の境界面82d(図13参照)は、それら導光板82同士の間の光の漏れ込みを防止するため、遮光加工されている。もちろん、境界面82dを斜面82c同様ミラー加工してもよい。

【0063】これに加え、導光板82の入射端面82aを、導光板外部から内部への光は通し、導光板内部から外部への光は反射するようにハーフミラー加工することも好適である。ハーフミラー加工すれば、いったんライトガイド80内に入射した光がパターン光源部70に戻り、パターン光源部70内で反射してライトガイド80内に再入射することを防ぐことができる。特に、光がその発生源の光源ユニット72とは別の光源ユニット72で反射してライトガイド80に再入射すると、もとの光源ユニット72の縞パターンとは異なる部分が明るくな40

16

って空間コード化の精度に影響を及ぼす可能性があるが、各導光板82の入射端面82aをハーフミラー加工すればこのようなことを防止できる。もちろん、そのような再入射が問題とならないような場合は、ハーフミラー加工の必要はない。

【0064】なお、導光板82は、ガラスや樹脂等、光の透過性のよい材質であれば何を用いて製作してもよい。

【0065】このような構成のライトガイド80によれば、パターン光源部70のどの光源ユニット72から発せられた光でも、最終的に同一の出射面80bから出射される。ここで、光源ユニット72のパターンマスク78を通過した光は、バンド(図11参照)ごとに別々の導光板82に入射し、互いに混じり合うことなく出射面80bまで導かれる。したがって、出射面80bから出射される光は、パターンマスク78のパターンに対応したパターン光となる。また、出射面80bの幅は光源ユニット72の高さ a 以下なので、出射面80bは実質的に線光源とみなすことができ、出射面80bから出射される光は縞方向Aについてほぼ均一な強度となり、発光ムラを低減又はなくすることができる。

【0066】このようにしてライトガイド80の出射面80bから出射されたパターン光は、スリット光生成用円柱レンズと結像用レンズからなるレンズ系90により拡射され計測対象に投影され、この結果計測対象にパターンが結像する。

【0067】以上説明したパターン光投影装置は、極めて小型に構成することができる。例えば図9や図12に示す7ビットコード化の装置構成の場合、ライトガイド80は128枚の導光板82を積層することにより構成されるが、導光板82は厚さ0.1mm程度に形成することができるので、ライトガイド80は15mm足らずの厚さで構成することができる。この場合、光源ユニット72のパターンマスク78も最小0.1mm幅でパターン形成する必要があるが、これは写真技術を利用すれば容易に実現できる。光源ユニット72は、高さ・幅が1.5mm程度のものを製作することができる。結局、パターン光源部70とライトガイド80を合わせても、約10mm×10mm×15mm程度の大きさに収めることができ、これは携帯型のデジタルカメラに十分搭載可能な大きさである。

【0068】図14に、以上のパターン光投影装置を搭載した携帯型の形状計測装置の光学系部分の一構成例を模式的に示す。レンジファインダ300は、パターン光投影装置320と、レンズ312及びCCDカメラ314からなるCCD撮像装置31を含む。パターン光投影装置320は、既に説明したパターン光源部70、ライトガイド80及びレンズ系90の他に、絞り95を含んでいる。レンズ系90は、絞り95を通過した光のみを投影する。絞り95を設けたことにより、パターン光の40

17

被写界深度を深くすることができる。図14の構成によれば、パターン光投影装置320からパターン光が投影された対象物をCCD撮像装置31で撮像することができる。

【0069】図15は、以上説明したパターン光投影装置を用いた三次元形状計測装置の電気系の構成を示す機能ブロック図である。以下、この図を参照し、本実施形態の装置を、実施形態1の装置(図1参照)との相違に注目しつつ説明する。図15において、図1と同様の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

【0070】本実施形態の三次元形状計測装置は、液晶シャッタなどを用いず、発光させるパターン光源ユニット72を切り替えることにより、投影するパターンを切り替える。すなわち、本実施形態では、パターン光源部70に電力を供給する駆動電源装置36aが、そのままパターン切替制御の役割を果たすことになる。

【0071】駆動電源装置36aは、パターン光源部70が備えるn個のパターン光源ユニット72-1~72-nに対応して、n個のコンデンサ51-1~51-nを備えている。コンデンサ51と光源ユニット72とは一対一対応で接続されている。各コンデンサ51は、光源ユニット72のフラッシュ管76を1回発光させるのに十分な容量を備える。この構成は、1回の形状計測に必要な発光回数分だけの単位電源(コンデンサ)を備え、それら単位電源を順に放電させてパターン光を順次生成するという点で、1回計測用電源ユニット50を含んだ実施形態1の駆動電源装置36と類似している。

【0072】各コンデンサ51は、スイッチ54を介して充電用電源56から電源供給を受け、充電することができる。切替制御部57は、実施形態1の切替制御部57(図5参照)と同様の制御で、各スイッチ54のオン・オフを制御する。また、切替制御部57は、各コンデンサ51と各光源ユニット72との間を断続する各スイッチ55aの開閉を制御する。この制御は、光源ユニット72-1~72-nが、所定間隔で1つずつ順番に発光するよう行われる。発光間隔は、CCD撮像装置31における画像形成処理の1フィールドの時間(例えば1/60秒)であり、発光のタイミングはCCDの蓄積時間内に設定される。このような切替制御部57の制御は、実施形態1と同様、計測コントロール部35から与えられる、CCD撮像装置31の撮像同期信号に対して一定のタイミング関係を持った制御信号に基づいて行われる。

【0073】このような構成で、各光源ユニット72-1~72-nをCCD撮像装置31の画像生成タイミングと同期して順に発光させていくことにより、nビットの2進空間コード化のために必要なn枚の画像を得ることができる。得られた画像群に基づく形状計測のための演算処理は、実施形態1と同様である。

【0074】以上説明したように、本実施形態によれ

18

ば、空間コード化のためのパターン光を、液晶シャッタなどを用いず簡易な構成で生成することができる。また、本実施形態も、パターン光の光源として瞬間的な閃光を発するフラッシュ管を用いるので駆動電源が小容量で済み、装置構成の小型化が図れる。また、機械的な走査機構がないので、振動等による問題や経年的な性能劣化の問題も少ない。したがって、本実施形態によれば、小型軽量の三次元形状計測装置を構成することができる。また、フラッシュ管として白色光を発するものを用いれば、形状計測と同時にカラー画像を得ることもできる。

【0075】なお、図15の構成では、駆動電源装置36aは形状計測処理1回分のコンデンサ51しか備えていないが、実施形態1(特に図6参照)と同様に、計測処理複数回分のコンデンサを設けて連続的な撮影・計測処理を行えるようにしてもよい。

【0076】また、本実施形態も、図8の構成と同様、撮像ユニットと演算ユニットに分離可能に構成することができることは、明らかであろう。

【0077】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、パターン光の光源として採用したストロボ光源又はフラッシュ管は、小容量の電源で駆動でき、発熱も少ないので、形状計測装置の小型化に大きく寄与する。また、本発明に係る形状計測装置は、レーザ光走査方式のような機械的な動作機構を含まないので、装置を動かしても機械的なくらいが生じず、投影パターンの位置関係の再現性を維持しやすい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施形態1の三次元形状計測装置の原理的な構成を示す図である。

【図2】 4ビットの純2進空間コード化のためのパターンマスクの例と、それらパターンマスクを投影した物体の画像を示す図である。

【図3】 4ビットのグレイコードを生成するためのパターンマスクの例を示す図である。

【図4】 形状計測のための演算処理を説明するために、計測対象の物体とパターン光源と撮像面との幾何学的位置関係を示した図である。

【図5】 駆動電源装置36の好適な構成例を示すブロック図である。

【図6】 連続的な形状計測処理に適した駆動電源装置36の構成例を示すブロック図である。

【図7】 図6の駆動電源装置36における各電源ユニット50の計測・充電期間のタイミングチャートである。

【図8】 携帯性を高める装置構成例の機能ブロック図である。

【図9】 実施形態2におけるパターン光投影装置の構成を模式的に説明する図である。

19

【図10】 パターン光源ユニット72の構造を示す図である。

【図11】 パターン光源部70の構成を示す図である。

【図12】 ライトガイド80及びパターン光源部70の一部を示す斜視図である。

【図13】 ライトガイド80及びパターン光源部70の一部を示す上面図である。

【図14】 実施形態2のパターン光投影装置を搭載した携帯型の形状計測装置の光学系部分の一構成例を模式的に示す図である。

【図15】 実施形態2の三次元形状計測装置の電気系の構成を示すブロック図である。

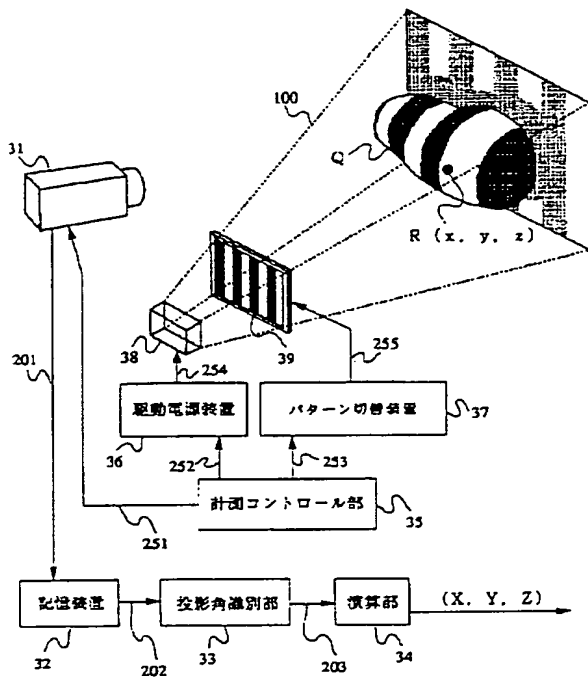
20

【図16】 空間コード化法の計測原理の説明図である。

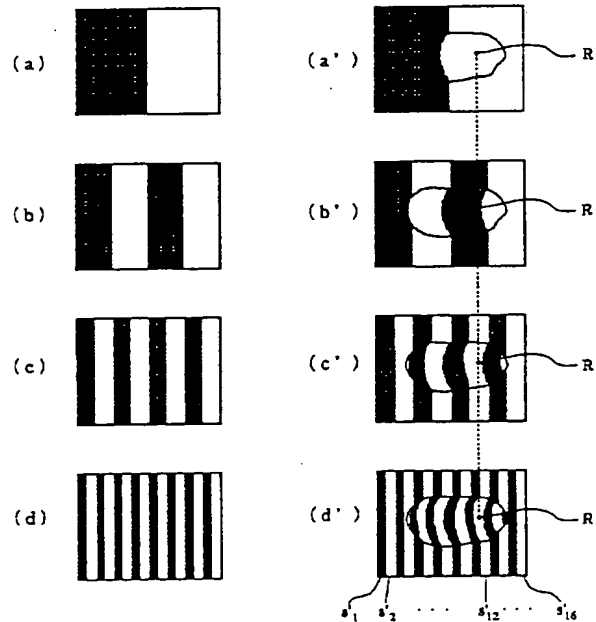
【符号の説明】

31 CCD撮像装置、32 記憶装置、33 投影角識別部、34 演算部、35 計測コントロール部、36 駆動電源装置、37 パターン切替装置、38 ストロボ光源、39 パターンマスク装置、50 1回計測用電源ユニット、51 コンデンサ、56 充電用電源、57 切替制御部、70 パターン光源部、72 パターン光源ユニット、76 フラッシュ管、78 パターンマスク、80 ライトガイド、82 導光板、90 レンズ系。

【図1】

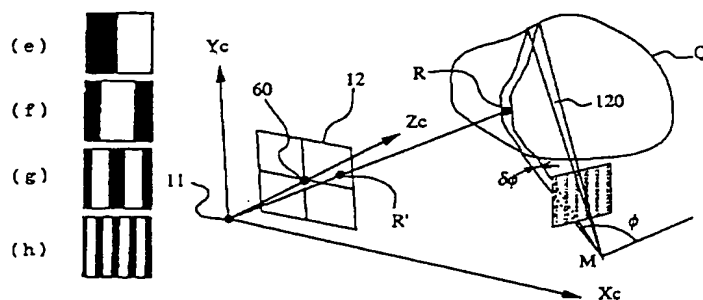


【図2】

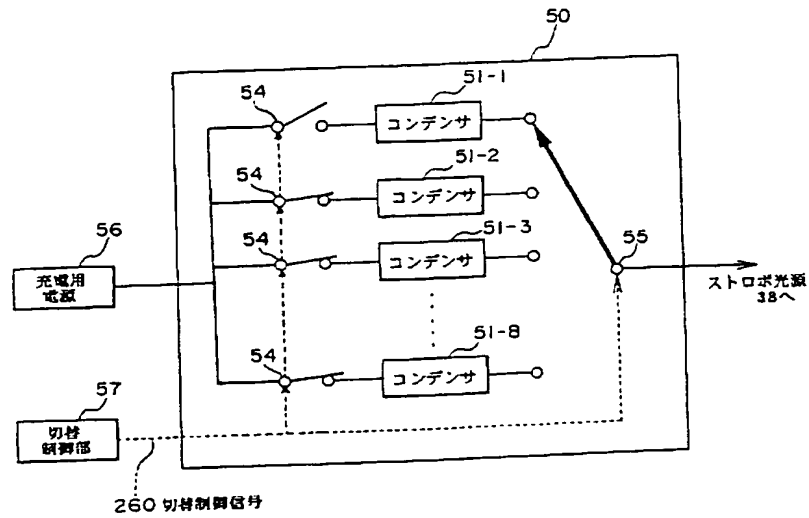


【図3】

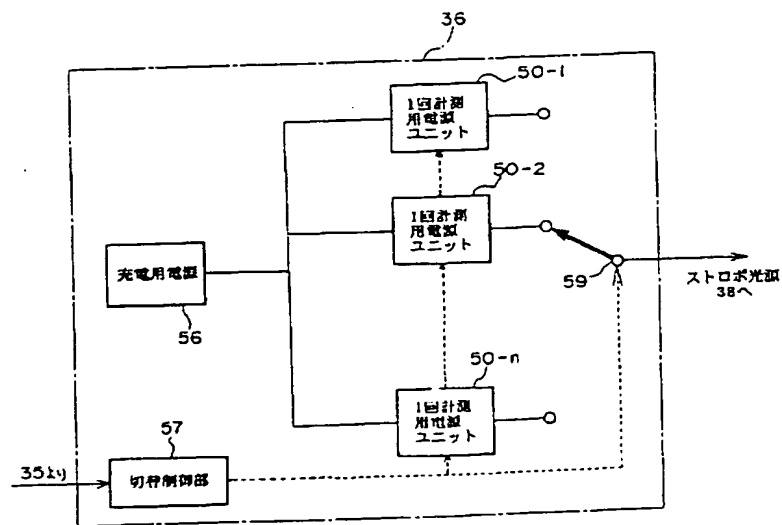
【図4】



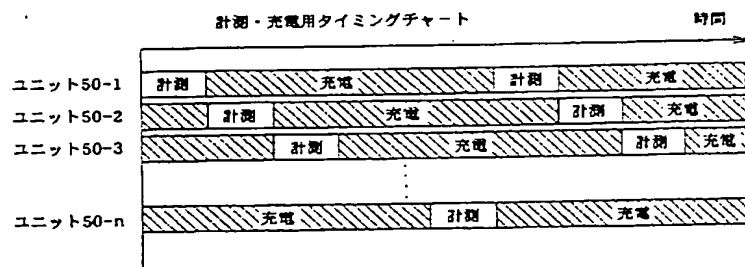
【図5】



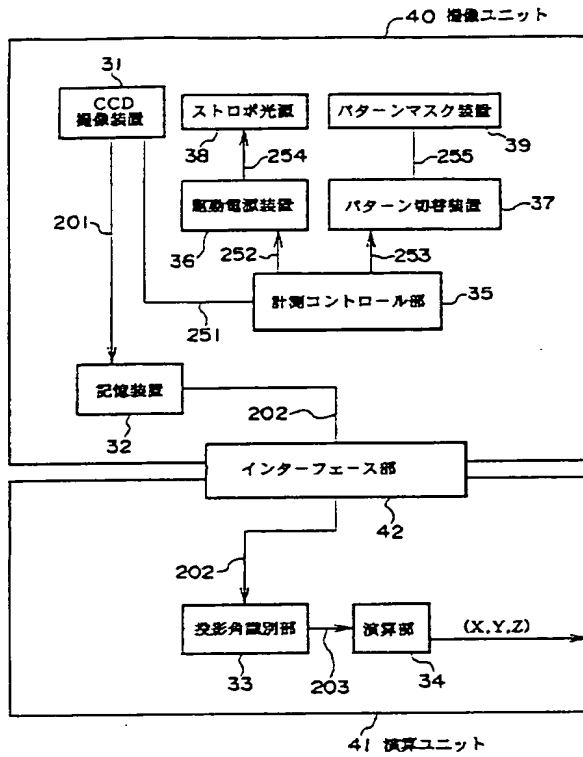
【図6】



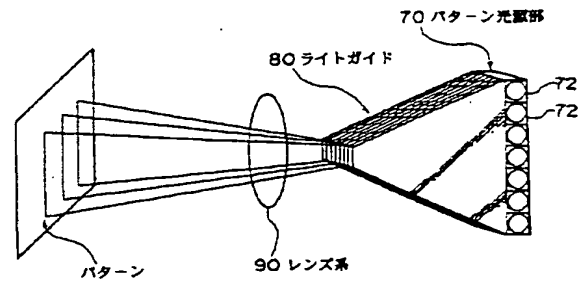
【図7】



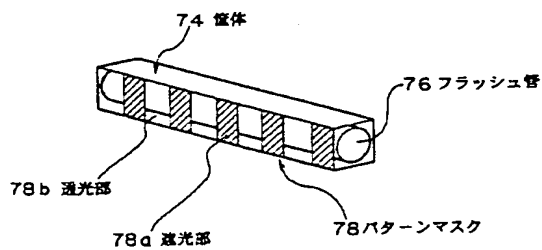
【図 8】



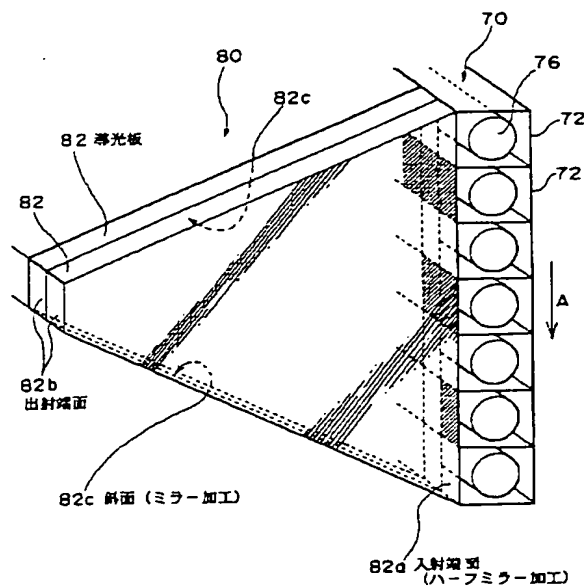
【図 9】



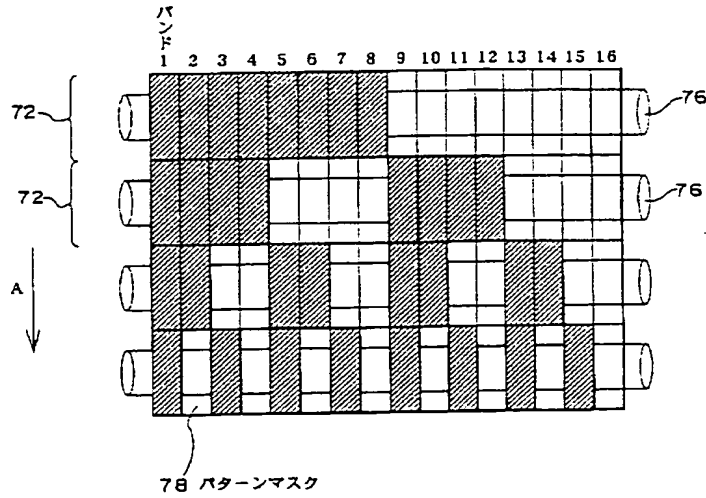
【図 10】



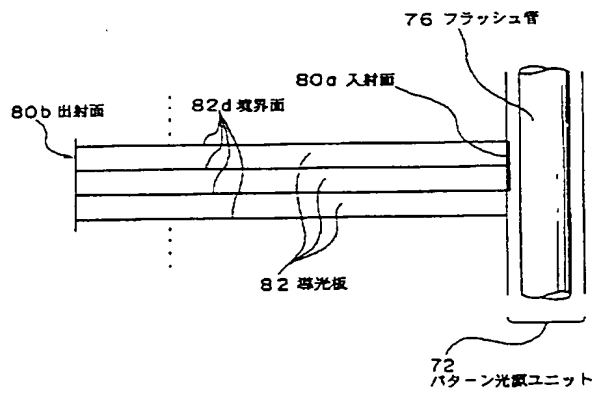
【図 12】



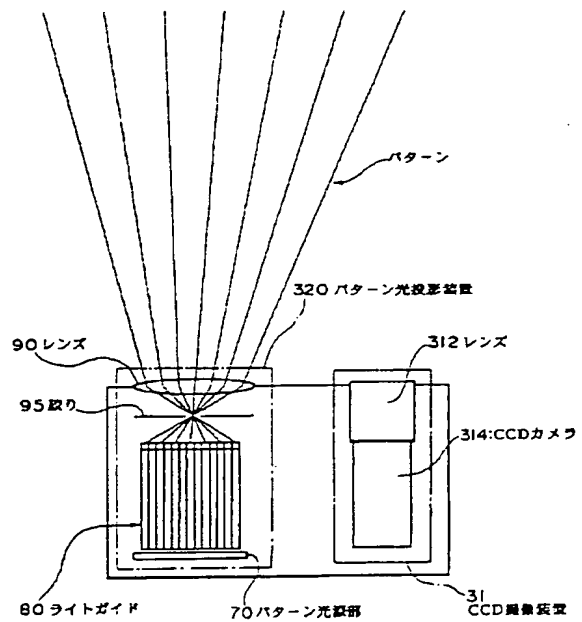
【図11】



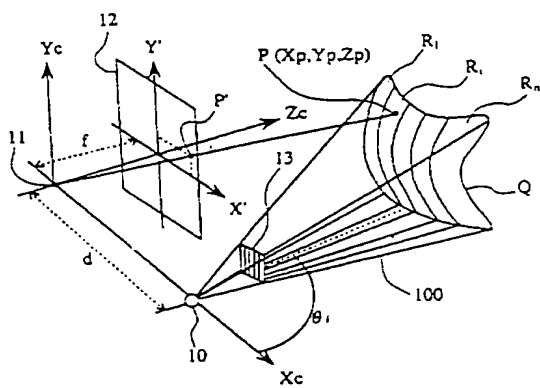
【図13】



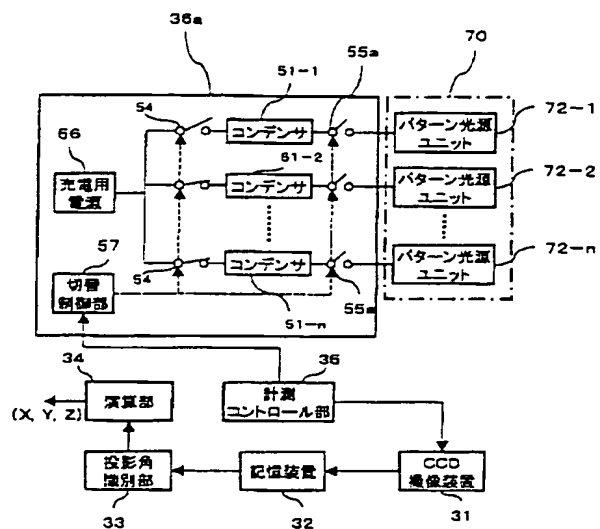
【図14】



【図16】



【図15】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA31 AA45 DD02 FF02
 FF04 GG02 GG03 GG04 GG06
 GG08 HH05 HH07 JJ03 JJ16
 JJ19 JJ26 LL13 QQ04 QQ24
 QQ25 QQ26 QQ27